

基础科学研究前沿格局的 知识图谱解析

侯剑华 李旭彦 著

非
外
借



科学出版社

基础科学研究前沿格局的 知识图谱解析

侯剑华 李旭彦 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以数学、物理学、化学、天文学、地球科学、生物学六个学科作为基础科学的研究对象,首先分析我国基础科学研究的投入、产出及研究力量布局等基本情况,在科睿唯安的 Web of Science 数据检索平台,检索每个基础科学门类中的基础学科或交叉学科的期刊文献数据,使用文献信息可视化工具 CiteSpace 软件系统对各基础学科领域的文献进行共被引、作者合作等分析,绘制基础学科研究的知识图谱;其次探测各基础学科领域的研究前沿问题、科学合作、代表性学者和学术团体等;最后揭示我国基础学科研究的基本现状,分析我国基础学科研究中存在的问题和不足,提出提升我国基础科学研究能力的对策建议。

本书可供科技管理的政府相关部门、科研人员和高等院校科技管理、技术创新管理、信息管理等相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础科学研究前沿格局的知识图谱解析 / 侯剑华, 李旭彦著. —北京: 科学出版社, 2019.9

ISBN 978-7-03-059667-3

I. ①基… II. ①侯… ②李… III. ①基础研究—图解 IV. ①G30-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 273206 号

责任编辑: 郝 悦 / 责任校对: 贾娜娜
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 无极书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

http: //www.sciencep.com

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 9 月第 一 版 开本: 720 × 1000 B5

2019 年 9 月第一次印刷 印张: 21 1/2

字数: 430 000

定价: 172.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本书由大连市人民政府资助出版

The published book is sponsored
by the Dalian Municipal Government

前 言

基础研究是科学之本、技术之源，是提升原始创新能力的根本途径，是无可替代的“源头供给”。2016年5月30日，全国科技创新大会、两院院士大会、中国科学技术协会（简称中国科协）第九次全国代表大会在北京召开。习近平总书记发表重要讲话，指出我国科技创新的三大方向，“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求，加快各领域科技创新，掌握全球科技竞争先机”^①。当前，新一轮科技革命蓄势待发，物质结构、宇宙演化、生命起源、意识本质等一些重大科学问题的原创性突破正在开辟新前沿、新方向，我国必须重视基础科学研究，加速基础研究的赶超引领，在基础研究的重要领域与世界发达国家实现并跑和领跑。然而，我国当前的技术自主创新能力和原始创新能力不强，影响了创新驱动发展国家战略的实施，作为技术创新发展的供给侧，基础科学研究在我国当前科学技术快速发展的阶段日益显现出重要作用。基础科学的发展水平直接反映了一个国家的科学实力和知识基础，对科技竞争力的提高有着至关重要的影响。

加强基础科学研究，提升基础科学水平是提高我国原始创新能力、积累智力资本的重要途径，是我国跻身世界科技强国的必要条件，是我国建设创新型国家的根本动力和源泉。进入21世纪，新一轮科技革命以更加迅猛的态势在全球范围内引发了剧烈的产业革命，经济与科技的结合日益紧密，由基础研究成果到产业开发的周期明显缩短，在一些领域，基础研究与科学技术几乎同步发展。掌握了基础研究的前沿，就意味着掌握了重要的科技竞争主动权。因此，进一步完善基础学科布局，培育和支持新兴交叉学科，在若干基础科学前沿领域实现重点突破，解决一批国家经济社会发展中的关键科学问题，建设一支高水平的基础研究队伍，追踪国际基础科学研究的前沿及其演化趋势已经成为我国当前亟待解决的重要课题。

1. 创新研究范式的变革

在技术创新活动中，科学的重要性日益突显。全球创新范式正在从“基于技术的创新”（technology-based innovation, TBI）逐步走向“基于科学的创新”（science-based innovation, SBI）。根据创新过程中是否包含新的科学知识，可以将技术创新活动划分为“基于科学的创新”和“基于技术的创新”，“基于科学的创新”是以基础研究

^① 引自《为建设科技强国而奋斗——在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上的讲话》，人民出版社，2016年。

为主的原始创新，而“基于技术的创新”是以应用研究与开发研究为主的集成创新和引进、消化、吸收与再创新（图 0.1）。改革开放以来，我国在实现技术追赶和创新过程中，集成创新和引进、消化、吸收与再创新一直是新兴技术获取的主要途径，基础研究原始创新不够。缺乏原始创新导致技术供给侧源动力不足，已经严重阻碍我国传统产业结构转型升级和战略性新兴产业的创新发展。要从根本上改变这种局面必须从新兴技术形成的基础研究根源寻求突破。因此，我国提升原始创新能力，亟须实现从以“基于技术的创新”为主体模式，转变成“基于科学的创新”和“基于技术的创新”双轮驱动的发展模式，增强“基于科学的创新”能力是我国新兴技术获取和可持续发展的重要途径，是推动供给侧结构性改革的必由之路和破冰之举，将成为我国“十三五”期间发展战略战略性新兴产业，实现创新驱动发展战略的重要保障。

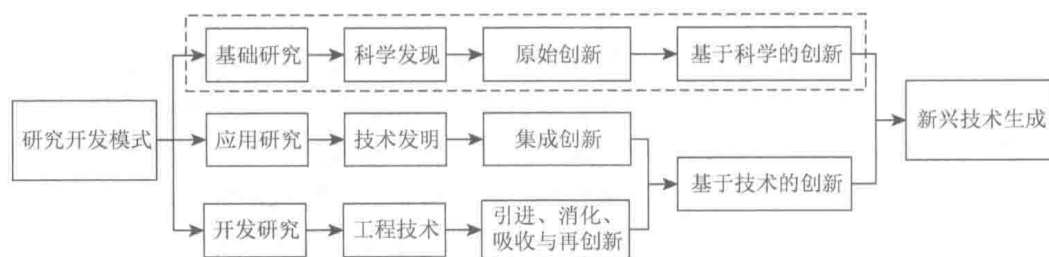


图 0.1 新兴技术生成的主导模式

受熊彼特创新研究范式的影响，特别是技术后发国家在加快实现技术赶超和技术突破的思想导向下，与“基于技术的创新”相关的各种理论研究逐渐得到发展和完善。然而，在全球化技术竞争和产业链培育的背景下，经典的技术创新理论不能完全解释创新实践中的各种问题和现象。随着原始创新在创新活动中的地位日益突显，科学也逐渐从技术创新研究中剥离出来，不仅作为创新研究的一个要素，而且成为驱动新兴技术生成的重要变量。创新研究范式正在由“基于技术的创新”走向“基于科学的创新”。“基于科学的创新”研究是突破技术创新理论研究“瓶颈”的重要途径，也是拓展和丰富技术创新理论研究的重要组成部分。

创新研究范式的转换更加凸显了基础研究的重要地位。基础研究是创新的供给侧，创新是创新驱动的供给侧，而创新驱动是经济社会发展的供给侧。如果基础研究繁荣发展，就有可能引发可产生链式反应的科学突破，可延续甚至突破经济新常态。近年来，我国基础研究成果产出在国际上的影响力逐年提升，基础研究的学术产出占比已由 20 年前的不到 3% 上升到 2015 年的 18% 左右。我国开始进入一个颠覆性创新、源头创新逐渐涌现的时期，基础研究对我国实施创新驱动发展战略将发挥重要作用。

2. 从基础研究到创新驱动

基础研究的深度和广度，决定了一个国家的原始创新活力。党的十九大报告明确提出“加快建设创新型国家。创新是引领发展的第一动力，是建设现代化经济体系的战略支撑。要瞄准世界科技前沿，强化基础研究，实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破。加强应用基础研究，拓展实施国家重大科技项目，突出关键共性技术、前沿引领技术、现代工程技术、颠覆性技术创新，为建设科技强国、质量强国、航天强国、网络强国、交通强国、数字中国、智慧社会提供有力支撑”^①。这是从我国发展实际和基本国情出发做出的科学、正确的战略决策，也是当前和未来一段时期我国经济社会发展的核心战略。我国经济发展已经进入新常态，实施创新驱动发展战略，是更好地引领我国经济发展新常态、加快转变经济发展方式、破解经济发展深层次矛盾和问题，保持我国经济持续、健康发展的必然选择。基础研究是创新驱动发展的供给侧，基础研究的供给结构和供给能力直接关系到创新驱动发展的水平与动力，因此，基础研究能力是创新驱动发展的力量源泉，是提升我国原始创新水平和技术自主创新能力的重要前提。

从科学技术发展史来看，历次工业革命的爆发都以技术革命为前提，而技术革命的到来又都以重大科学的突破为导火索。17世纪，牛顿综合了哥白尼、伽利略、开普勒等科学家的研究成果，建立了以系统的实验方法得到完整的物理因果关系的理性思维体系，创立了一套完整的经典物理学理论，为以蒸汽机、机械为主的技术革命奠定了坚实的科学理论基础，进而引发了第一次工业革命，开启了人类社会现代化历程。19世纪，麦克斯韦通过总结大量实验获得了电磁学定律，完成了统一电学和磁学的麦克斯韦方程，建立了经典场论，进一步拓展了人们的物质观，继而引发了一场电气化技术革命，促进了电气工程和整个无线电通信事业的大发展。20世纪初期，以相对论和量子论为代表的物理学的革命性发展，促进了人类崭新的时空观、运动观和物质观的形成，极大地深化了人类对自然界从微观、宏观到宇宙观，各个尺度层次上的基本规律的认识，使整个科学体系发生了质的飞跃，引发了第三次科技革命，继而涌现了半导体技术、核技术、激光技术、信息技术等。物理学和生物学结合，发现了脱氧核糖核酸（deoxyribonucleic acid, DNA），奠定了现代生物技术的基础^②。一些国家抓住科学技术革命的难得机遇，实现了经济实力、科技实力、国防实力等的迅速增强，综合国力快速提升。近代以后，由于国内外各种因素，我国屡次与科学技术革命失之交臂。中华人民共和国成立以来，特别是改革开放以来，我国科学技术发展取得了举世瞩目的伟大成

^① 引自 2012 年第 22 期《求是》中的文章《坚定不移沿着中国特色社会主义道路前进 为全面建成小康社会而奋斗——在中国共产党第十八次全国代表大会上的报告》。

^② 陈佳洱. 基础科学研究对建设创新型国家具有重要意义[J]. 科技导报, 2007, (10): 1.

就，科学技术整体能力持续提升，一些重要领域跻身世界先进行列，某些前沿方向开始进入并行、领跑的阶段，正处于从量的积累向质的飞跃、从点的突破向系统能力提升的重要时期。强化基础科学研究，提升原始创新能力是我国当前实施创新驱动发展战略的必由之路，努力提高基础科学的研究水平不仅为创新驱动发展提供重要的理论支撑和方法论，不断推动技术进步和经济发展，也是培育创新型、复合型专业技术人才的重要前提。

(1) 基础研究为创新驱动提供理论支撑。创新驱动的实质是科学技术的创新发展。一方面，基础研究通过技术中介作用于生产实践，推进生产力的发展。由基础研究建立起来的科学知识体系是技术发展的理论来源，纵观历史上重大的技术发明和创新都以重大的科学突破为前提，基础研究是技术创新发展的理论支撑。另一方面，基础研究可以通过科学的创新直接作用于生产实践，即“基于科学的创新”显示出由科学发现驱动创新的线性模式。青霉素和晶体管的发明就是典型的“基于科学的创新”的案例^①。科学发现和突破直接为创新提供理论支撑。

(2) 基础研究是经济发展的先导。基础研究是科学之本、技术之源，是提升原始创新能力的根本途径和主阵地。基础研究是不断产生新知识、取得科学突破的主要手段，新技术、新工艺、新流程、新产品都是建立在新知识基础上的，都必须从新知识的储备中提取理论基础，因此，基础研究取得重大突破是产生原始创新的主要路径和主阵地，也是推动经济可持续发展、提升核心竞争力的动力源。基础科学知识已经成为生产力发展的核心要素，随着原始创新在推动生产力发展和经济增长中的地位日益突显，科学也逐渐从技术创新研究中剥离出来，成为生产力发展的重要变量，在推动经济增长过程中发挥重要的先导和基础作用。基础研究水平的提升不断优化产业结构和经济发展方式。创新驱动是经济社会发展的供给侧，基础研究就是创新驱动的供给侧。基础研究的不断进步不仅提升生产力发展水平，并且通过提升技术效率和原始创新能力不断优化产业结构，改变传统的经济发展方式。

(3) 基础研究为创新驱动提供人才保障。创新驱动发展的核心是人才的创新，培育和聚集创新型人才是基础研究的重要职能之一。基础研究为创新驱动发展提供创新人才保障可以体现在三个方面：一是培养和造就各领域专门的研究队伍，其既可以成为本国科学研究和技术创新的中坚力量，也可以成为引进国外新知识和新技术的桥梁；二是基础研究的教育和人才培养，可以培育较高水准的科学技术研究的后备力量，为基础研究持续创新发展做好人才储备和培养接班人；三是基础研究和科学普及，不断提升全民族的智力水平和科学文化素质，为“万众创新”培植深厚的创新文化土壤，营造良好的创新驱动发展的科学氛围。

^① 林苞，雷家骕. 基于科学的创新模式与动态——对青霉素和晶体管案例的重新分析[J]. 科学学研究，2013，(10): 1459-1464.

目 录

第 1 章 基础研究与基础科学	1
1.1 基础研究与科学知识体系	1
1.2 基础科学的特点与分类	5
1.3 基础科学研究的重要作用	7
1.4 本章小结	9
第 2 章 中国基础科学研究概况	10
2.1 基础科学的研究分布	10
2.2 基础科学研究的投入情况	25
2.3 基础科学研究的产出情况	31
2.4 基础科学领域国家重点实验室分布	46
2.5 基础科学研究的政策	52
2.6 本章小结	60
第 3 章 知识图谱方法概述	61
3.1 科学学与科学计量学理论	61
3.2 引文分析理论	66
3.3 科学合作分析方法	72
3.4 文献信息可视化方法	76
3.5 科学知识图谱方法	82
3.6 CiteSpace 软件工具	88
3.7 本章小结	98
第 4 章 数学科学-基础数学研究的知识图谱	100
4.1 数学科学研究的发展态势	100
4.2 基础数学的研究前沿	106
4.3 基础数学领域的科学合作	115
4.4 基础数学领域主流学术团体与代表人物	123
4.5 本章小结	135
第 5 章 物理科学-凝聚态物理学研究的知识图谱	136
5.1 物理科学研究的发展态势	136
5.2 凝聚态物理学的研究前沿	141

5.3	凝聚态物理学领域的科学合作	150
5.4	凝聚态物理学领域主流学术团体与代表人物	162
5.5	本章小结	172
第6章	化学科学-无机化学研究的知识图谱	173
6.1	化学科学研究的发展态势	173
6.2	无机化学的研究前沿	177
6.3	无机化学领域的科学合作	188
6.4	无机化学领域主流学术团体与代表人物	197
6.5	本章小结	208
第7章	天文科学-天体物理学研究的知识图谱	209
7.1	天文科学研究的发展态势	209
7.2	天文学与天体物理学的研究前沿	213
7.3	天文学与天体物理学领域的科学合作	217
7.4	天文学与天体物理学领域主流学术团体与代表人物	226
7.5	本章小结	241
第8章	地球科学-地质学研究的知识图谱	242
8.1	地球科学研究的发展态势	242
8.2	地质学的研究前沿	248
8.3	地质学领域的科学合作	254
8.4	地质学领域主流学术团体与代表人物	264
8.5	本章小结	276
第9章	生物科学-生物信息学研究的知识图谱	278
9.1	生物科学研究的发展态势	278
9.2	生物信息学的研究前沿	288
9.3	生物信息学领域的科学合作	293
9.4	生物信息学领域主流学术团体与代表人物	302
9.5	本章小结	314
第10章	提升我国基础科学研究水平的对策建议	316
10.1	我国基础科学研究存在的问题	316
10.2	优化基础科学研究投入的建议	319
10.3	加强基础研究过程管理的建议	321
10.4	提高基础科学研究产出质量的建议	322
附录	研究机构中英文对照表	325
	后记	331

第1章 基础研究与基础科学

基础研究是指以创造新知识、新理论和发现新规律为目的的科学研究活动。由基础研究获得的科学成果所组成的知识体系就是基础科学。基础研究是技术创新的源泉，也是创新驱动发展的供给侧。基础科学对我国提升原始创新能力，加快推进国家创新体系建设具有重要的现实意义。本章主要通过梳理基础研究与基础科学相关的基本概念，介绍基础科学、应用科学与工程科学之间的关系以及基础科学研究的分类、特点及其重要作用等内容。

1.1 基础研究与科学知识体系

基础研究的不断发展建立起了基础科学知识体系，并且推动了整个科学知识体系的分化和交叉融合发展。对于庞杂的科学技术系统，按照科学研究活动和开发活动的差别，可以将研究开发活动区分为基础研究、应用研究和开发研究三种类型。按照科学知识体系的学科层次，可以将自然科学知识体系划分为基础科学、应用科学和工程科学三个层面。

1.1.1 基础研究、应用研究和开发研究

基础研究是对新知识、新理论、新原理的探索，其成果不但能扩大科学理论的研究领域，提高应用研究的技术水平，而且对于应用科学、工程科学和生产的发展具有不可估量的作用。应用研究是把基础研究发现的新知识、新理论用于特定目标的研究。它是基础研究与开发研究之间的桥梁。开发研究又称技术开发，是把应用研究的成果直接应用于生产实践的开发活动。

1945年7月，美国科学研究与发展局V. 布什在向罗斯福总统提交的《科学：永无止境的前沿》的研究报告中写道：“基础研究并不考虑实用的目的，它产生的是普遍的知识和对自然及其规律的理解。这种普遍的知识提供了解答大量重要实用问题的方法，但是它不能给出任何一个问题的完全具体的答案。提供这种圆满答案是应用研究的职责。”^①随着时代的发展，基础研究和应用研究的划分越来越具有相对性。以往人们公认的传统的基础科学（如物理学和数学），今天也具有相当

① 布什 V. 科学：永无止境的前沿[M]. 张炜，等，译. 北京：中国科学院政策研究室，1985.

复杂的结构（如物理学有理论物理学、实验物理学和应用物理学之分，数学有理论数学与应用数学之分）。此外，今天视为基础研究或应用研究的学科分支或课题，随时间的推移也将不断发生变化。

应用研究主要是指为获得新知识而进行的创造性研究，然而这种研究主要针对某个具体的实际目标和目的。它要根据基础研究的一般原理，针对某种具体的应用目标进一步研究技术理论问题，深入考察某一类事物的特殊规律，从而为开发研究提供比基础研究更为具体的指导性的理论和方法。应用研究成果的本质特征是技术原理及其发明。具体形式可以是学术论文、实验报告，也可以是原理性的试验装置和模型等。

开发研究是指利用从科学研究和（或）实际经验中所获得的现有知识，生产新材料、新产品、新装置、新流程和新方法，或对现有的材料、产品、装置、流程、方法进行本质性改进的系统工作。开发研究的目的是不是探求新知识，而是把应用研究的成果发展成为可实际应用的技术产品。它是联系科学与生产的桥梁和纽带。

综上，从基础研究、应用研究和开发研究三者的内涵来看，基础研究没有特定的应用目的或目标。主要表现在进行研究时对其成果的实际应用前景并不很清楚，或者虽然确知其应用前景但并不知道达到应用目标的具体方法和技术途径。应用研究的特定应用目的不外乎两类：一是发展基础研究成果，确定其可能用途；二是为达到具体的、预定的目标确定应采取的新的方法和途径。应用研究虽然也是为了获得科学技术知识，但是这种新知识是在开辟新的应用途径的基础上获得的，是对现有知识的扩展，为解决实际问题提供科学依据，对应用具有直接影响。基础研究获取的知识必须经过应用研究才能发展为实际运用的形式。开发研究是为一定的工程技术实践而开展的技术开发活动，一般有具体明确的目标，计划性强，费用投入一般较大，是一项系统工程，需要各方面协调配合，注重组织和集体的作用。三者的主要区别如表 1.1 所示。

表 1.1 基础研究、应用研究和开发研究的比较

类别	基础研究	应用研究	开发研究
内涵	基础研究是指为了获得有关各种现象和能够观察到的事实的基本原理的新知识，不以任何专门或具体的应用和使用为目的，而进行的实验性和理论性工作	应用研究指为获得新知识而进行的创造性研究，然而这种研究主要是针对某个具体的实际目标和目的	开发研究是指利用从科学研究和（或）实际经验中所获得的现有知识，开发新材料、新产品、新装置、新流程和新方法，或对现有的材料、产品、装置、流程、方法进行本质性改进的系统工作
案例	法拉第发现电磁感应原理（发电原理）；麦克斯韦提出电磁波理论	西门子制成励磁电机，可以发电，尚不能应用；赫兹发现电磁波，制成电磁波发生装置，使无线电通信成为可能	爱迪生制成电机，建成电厂，建立电力技术体系，迎来电世界；波波夫与马可尼进行无线电通信获得成功，实现跨越大洋的无线电通信，迎来电信时代

续表

类别	基础研究	应用研究	开发研究
原理原则	没有实际要求；没有时间限制；不急于评价；关键是带头人水平；多数情况下费用没有固定限制；一般没有保密性	有目标、计划；有时间限制，有弹性；适当时候做出评价；选题和组织工作起重要作用；费用较多，控制较松；有一定保密性	有具体明确目标，计划性强；有严格时间控制；完成后立即评价；需各方面协调配合，更需注重组织和集体的作用；费用投入一般较大，控制较严；有很强的保密性
结果形式	学术论文、学术专著等	学术论文、专利、原理模型等	专利设计、图纸、论证报告、技术专有、试产品等

1.1.2 科学知识体系

随着科学技术的不断深入发展，科学研究的疆域也不断扩展，科学沿着分化和综合的态势不断演化，科学知识已经形成了一个庞大的科学知识系统。一大批新兴学科不断涌现，基于科学知识分化发展的迅猛态势，这些新兴学科大多具有交叉性、边缘性、横断性和综合性等特征。大量交叉学科和学科群的出现使得科学知识体系的结构日益复杂。为了研究方便，使用学科、知识领域等科学知识体系的下位概念对科学知识系统进行描述。信息、知识、科学、学科、知识领域等相关概念的范畴可以由图 1.1 进行抽象概括。

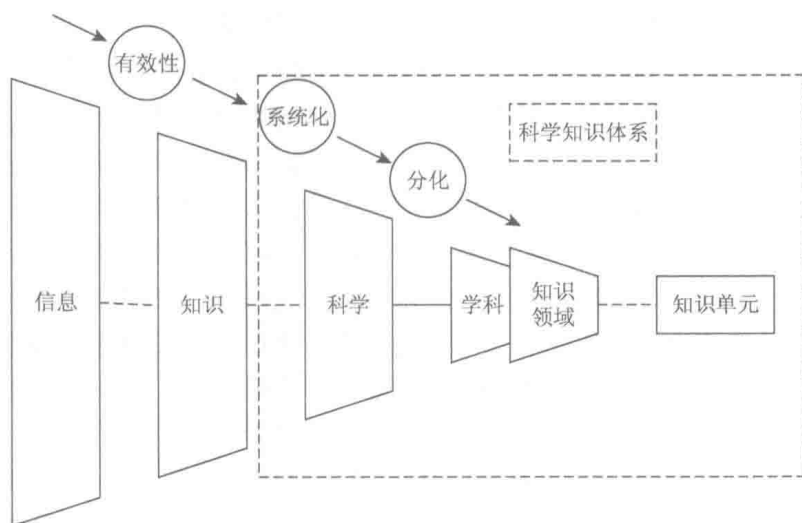


图 1.1 信息-知识-科学-学科-知识领域概念域关系图

信息、知识、科学三者的概念范畴属于逐层缩小的被包含关系。知识是信息范畴中有效的、有用的部分，科学则是知识范畴中系统化的部分。科学知识不断

演化,在学科或知识领域之间的交叉融合、分化发展的共同作用下,形成了日趋庞杂的科学知识体系。在这样的复杂知识系统中,学科和知识领域是处于科学的下位、知识单元(概念、定义、定理、定律等)的上位的概念,是科学知识体系层级中的具体单位。

关于科学知识结构或者科学知识体系的研究,学者已经进行了广泛、深入的探讨。其中,20世纪70~80年代,钱学森、于光远都对科学知识体系的分类进行过深入的研究。钱学森早在1979年就提出一个包含六个部分的科学技术体系,即马克思主义哲学、社会科学、自然科学、数学、技术科学、工程技术。随后的研究中,钱学森对该分类进行了多次补充,到20世纪90年代建立了“1+11”的科学部类结构^①。对于包含数千门学科的复杂的科学知识体系,为了更清晰地表达其层级结构,王续琨曾将科学知识体系划分为五层级子系统的层级结构。其中,科学知识体系(system of scientific knowledge)的第一层级子系统,称为科学部类(scientific section);科学知识体系的第二层级子系统,称为学科门类(discipline sub-section);科学知识体系的第三层级子系统是学科群组(discipline group);科学知识体系的第四层级子系统是学科系组(discipline sub-group);科学知识体系的第五层级子系统是基元学科(primary discipline)。当然这里需要指出的是,作为科学知识体系第五层级子系统的基元学科并不是学科序列的尽头,仍然属于过渡环节。伴随着科学研究工作的逐步深入,有些基元学科已经形成次层级分支学科(子学科),甚至有了次次层级学科(孙学科)。另外,这些基元学科在发展演化过程中,仍然不断与其他基元学科、学科系组、学科群组之间交叉融合、分化发展,形成新的学科层级,这也是科学知识体系演化的系统特性。

一般认为,对科学知识体系或者科学知识结构的研究通常指对科学知识体系的第一层级划分,即相关科学部类的划分。科学知识体系中不同学科或领域的研究范畴是存在层级关系的,从整体科学知识体系到科学部类、学科门类、学科群组、学科系组、基元学科及其多层次分支学科,构成了科学学科体系层级序列。除了一些惯用称谓,如学科部类的“社会科学”“自然科学”,沿用经典的“自然辩证法”“科学社会主义”等学科,人们通常将科学知识体系的各层级分支学科不加区分地称为“××学”,如第二层级子系统中的经济学、社会学、语言学、化学等学科门类,第三层级子系统的人口学、家庭学等学科群组,以及第四、第五层级子系统中的相对应学科系组和基元学科都有类似的现象。这种不加层级区分的大学科套装小学科的做法,容易造成学科研究范畴的模糊不清,因此不同层级使用不同的称谓,可以避免“学科嵌套,难辨大小”所带来的各种麻烦甚至混乱。

^① 王续琨. 交叉科学结构论[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2003.

1.1.3 基础科学、应用科学与工程科学

现代自然科学在承继近代自然科学 400 多年遗产的基础上, 又经历了 1 个世纪突飞猛进的发展, 至今已成为包含 3000~4000 门分支学科、边缘分支学科的庞大知识体系。根据学科研究对象与生产实践相联系的密切程度, 中国科学学第一人钱学森在《论技术科学》《关于建立和发展马克思主义的科学学的问题》等论文中, 率先提出和阐明“基础科学—技术科学—工程技术”三个层次及其相互关系。科学层次、研究类型以及高等学校的课程设置之间的关系如表 1.2 所示。

表 1.2 科学层次、研究类型与课程设置之间的关系

研究类型	科学层次	课程设置
基础研究	基础科学	基础课
应用研究	应用科学	专业基础课
开发研究	工程科学	专业课

资料来源: 刘则渊, 陈悦. 现代科学技术与发展导论[M]. 2 版. 大连: 大连理工大学出版社, 2011.

鉴于其他科学部类也可以区分为基础科学、应用科学、工程科学, 可以将自然科学中的基础科学、应用科学、工程科学称为自然基础科学、自然应用科学、自然工程科学。社会科学也可以相应地划分为社会基础科学、社会应用科学、社会工程科学。

基础科学与生产实践的联系最疏远, 而工程科学与生产实践的联系最直接、最密切。自然科学三个层次之间, 不存在截然分明的界限。有些学科是介于层次之间的边缘学科, 如半导体物理学、农业化学等。基础科学的任务, 是研究自然界物质运动的基本规律, 探索未知世界。基础科学对应于研究类型中的基础研究。应用科学的任务是指明基础科学的应用前景, 或者阐明技术中带有普遍性的理论问题。应用科学是基础科学与工程科学的中介, 对应于研究类型中的应用研究。工程科学的任务, 是综合运用基础科学、应用科学理论, 研究改造自然界的具体过程。工程科学对应于研究类型中的开发研究。工程科学是人们改造自然界各种实践经验的总结, 经验形态的知识、操作性的知识比较多。工程科学可以采用与技术相类似的方法进行分类。

1.2 基础科学的特点与分类

科学知识体系在纵向上可以分为基础科学、应用科学和工程科学三个层次。从科学知识体系的横向上来看, 主要包括自然科学、社会科学、交叉科学、思维

科学等学科类别。其中，以自然（社会）现象和物质（社会）运动形式为研究对象，探索自然界（人类社会）发展规律的基础科学，既包括自然基础科学，也包括社会基础科学。然而通常人们所说的基础科学往往专门指自然科学领域的基础科学，这主要是因为自然科学的发展先于社会科学，有“先入为主”之利，于是就约定俗成、习以为常地用基础科学来指代自然基础科学。

1.2.1 基础科学的特点

自然基础科学是以自然现象和物质运动形式为研究对象，探索自然界发展规律的学科类别，主要包括物理学、化学、生物学、天文学、地球科学等学科门类及其分支学科、边缘学科。数学作为一门独立的学科，由于其概念和定理通常并不基于人们对实际的观测和实践而产生，数学并不属于自然科学的范畴，但数学作为自然科学的“语言”，对整个自然科学乃至科学知识体系的发展演化起到重要的方法论支撑作用，特别是自然科学的基础分析方法和手段。因此，参照管理惯例，本书将数学科学研究归入基础科学研究的范畴。从自然基础科学的研究对象和学科属性等方面来看，自然基础科学主要包括以下四个方面的特点。

(1) 基础理论性。基础科学研究是对物质运动最本质规律的反映，与其他科学相比，理论性较强，具有抽象性、概括性的特点，是由概念、定理、定律组成的严密的理论体系。

(2) 间接作用性。基础科学一般不直接作用于生产力，通常由基础理论知识创生技术，技术再直接作用于生产。因此，基础科学与生产实践的关系比较间接，需通过一系列中间环节才能转化为物质生产力。

(3) 研究的独立性和长期性。基础科学研究通常由个人或其带领的学术团队进行攻关，实现科学理论的突破，研究相对具有独立性、长期性、艰苦性和连续性。

(4) 知识的共享性。基础科学研究目的是推动人类认识自然和社会现象或运行规律，研究成果属于人类的共同知识财富，一般具有非保密性，公开发表，成为全人类共同的精神财富。

1.2.2 基础科学的分类

按照基础科学的分类管理，本书所研究的基础科学包括数学、物理学、化学、天文学、地球科学、生物学等学科门类。近代以来，科学技术发展速度日益加快，科学知识体系也不断扩展，在原有学科领域的基础上，学科内部不断分化融合、交叉渗透，学科之间的边界日益模糊，交叉学科、新兴学科不断涌现，已经形成了如物理化学、化学物理学、生物物理学、生物化学、地球化学、地球生物学等

交叉学科和边缘科学。这一方面明显拓展了自然基础科学研究的对象和范畴，另一方面不断推动自然基础科学的学科领域向纵深方向发展，形成了庞大的基础科学知识体系。自然基础科学的各门类又形成了不同的分支学科和知识领域。

数学主要包括代数学、分析学、几何学、统计学、拓扑学、应用数学、计算数学等。

物理学主要包括粒子物理学、凝聚态物理学、光学、广义相对论、场论、量子力学、统计力学等。

天文学与天体物理学主要包括宇宙学和宇宙起源学、天星学、射电天文学、太阳系学等。

地球科学和空间科学主要包括大气物理学、大地测量学、水文学、海洋学、土地学、空间科学等。

化学主要包括分析化学、无机化学、有机化学、物理化学、结构化学、高分子化学等。

生物学主要包括植物学、动物学、自然人类学、生物化学、分子生物学、生态学、遗传学等。

本书由于篇幅的限制，为了尽可能展现当前国际自然基础科学研究的前沿领域，以自然基础科学各学科门类中的交叉性较强、较为前沿的学科知识领域为例，通过绘制基础学科各门类中前沿交叉学科的科学知识图谱，展现自然基础科学研究的前沿问题、科学合作以及主流学术团体和代表人物等基本情况，进而揭示当前国际自然基础科学研究的现状，为我国自然基础科学研究提供参考借鉴，同时为制定基础科学研究政策提供决策参考，为我国实施创新驱动发展战略提供理论基础支撑。

1.3 基础科学研究的重要作用

基础研究是提升我国原始创新能力和科学技术长远发展能力的重要基础，是我国当前实施创新驱动发展战略的重要源泉，必须依据国家重大战略需求和世界科学技术发展趋势，超前部署基础科学研究领域，使基础科学研究真正成为国家创新体系的重要组成部分，新兴技术涌现的重要支撑，成为推动创新人才培养的重要途径。

1. 基础科学研究是实施创新驱动发展战略的重要源泉

基础科学研究是创新驱动发展的供给侧。按照习惯用法，基础科学通常是自然科学基础研究领域中前沿性、理论性和创新性的研究成果。这些成果直接为技术创新提供理论支撑，是自主技术创新的重要来源和关键支撑，也是原始创新驱动的重要源泉。实施创新驱动发展战略，就是通过基础科学研究的渗透作用和引领作用，将前沿性和创新性理论成果直接融入生产力发展的各要素中，提高科学